

Rédaction : 4 août 1995 - mise à jour : 19 février 1996 - Parution : Actes du colloque « La transmission des savoirs scientifiques » - 118e congrès national des sociétés historiques et scientifiques, Pau, 1993. Direction et préface : Rémi Coutin, Henri Hudrisier et Marcel V. Locquin - Colloques du CTHS n°15, 1996.

L'image numérique, nouveau moyen de transmettre le savoir, ou nouveau savoir à transmettre

Auteur : Jean SEGURA

Les machines de vision

L'utilisation, depuis le siècle dernier jusqu'à nos jours, de machines de vision automatique, avec la photographie et le cinéma, puis la vidéo, vont faire connaître au statut de l'image des bouleversements successifs dans notre appréhension de la représentation. Ces machines s'interposent désormais entre le modèle à représenter et le regard de l'homme. Plus récemment encore, grâce aux progrès de l'électronique et de l'informatique, l'image prend la forme d'un code décriptable uniquement par l'ordinateur. L'image numérique devient un outil malléable qui façonne des situations en devenir, ouverte aux champs des modèles et de la simulation. Ce nouvel outil façonne profondément notre appréhension du monde, et par là même modifie notre mode de transmission du savoir scientifique.

Nées il y a trois décennies, les images traitées ou générées sur ordinateur pénètrent peu à peu de nombreux secteurs de la production, des services et de la création : design, production industrielle, recherche scientifique, création audiovisuelle, architecture, défense et médecine. Le développement technologique et la commercialisation d'ordinateurs graphiques, de progiciels, de moniteurs vidéo, scanners, imprimantes et autres périphériques dédiés à l'image font de « l'infographie » (néologisme contractant « informatique » et « graphisme » introduit à la fin des années 60 par Jean Mourier ¹), une jeune industrie en pleine croissance ; créant ainsi de nouvelles compétences humaines. Aux Etats-Unis, en Europe et au Japon principalement, de nombreuses manifestations sont aujourd'hui consacrées à l'infographie ainsi qu'à ses incidences économiques et culturelles.

Si pendant près de 35 000 ans, l'image n'a été que le seul fait de la main de l'homme, depuis un siècle et demi sa matérialisation ne cesse de se transformer au gré des techniques et des machines : chimique avec la photo et mécanisée avec le cinéma, elle devient électronique et hertzienne avec la télévision. Avec l'informatique, dernière de ses "enveloppes" technologiques, l'image est devenue numérique, c'est à dire qu'elle se réduit à un ensemble de valeurs arithmétiques discrètes, et s'ordonne selon de nouvelles règles. Ces règles tiennent à la fois à la manière dont l'image est obtenue ou construite, puisqu'elle est traitée comme une série de nombres, qu'aux procédures de manipulations qui autorisent simulation et interactivité à l'intérieur d'un espace virtuel contenu dans la mémoire de l'ordinateur.

Images numériques : définitions

A la différence de l'image vidéo, de nature analogique car formée d'un signal électrique continu, le principe du "numérique" est de "découper" le signal lumineux continu qui émane d'une image en une série de points ou "pixels" (contraction anglo saxonne de *picture element*). A chaque point correspond une valeur arithmétique

exprimée en mode binaire (des "zéros" et des "uns") ou bits (pour *binary digit*) dont la grandeur est directement proportionnelle à l'intensité de lumière blanche en ce point. Pour la couleur, on sépare, comme en vidéo, le signal lumineux en trois composantes primaires, rouge, verte et bleue (RVB). On affecte le même nombre de bits à chacune des couleurs. Avec 2 bits, on dispose de quatre nuances pour chaque couleur (00, 01, 10 et 11). Avec 3 bits, 8 nuances, 4 bits, 16 nuances, etc. Le codage sur 8 bits par couleur, permet d'atteindre 256 nuances. En combinant les trois signaux R, V et B, codés chacun sur 8 bits (24 bits en tout) on parvient à atteindre jusqu'à 16,7 millions de couleurs différentes, soit une palette qui dépasse largement le pouvoir de perception de l'œil. La résolution de l'image dépend quant à elle de la finesse du découpage, donc du nombre total de pixels par image. A l'affichage, elle dépend aussi de la définition de l'écran graphique ou de celle de l'imprimante. Cette définition varie de 500 points par 500 lignes jusqu'à plus de 1000 x 1000, soit environ 1 million de pixels. On parvient même à atteindre plusieurs dizaines de millions de pixels pour certaines sorties sur supports photographiques.

Chaque image est mémorisée et interprétée par l'ordinateur sous la forme d'une donnée informatique que l'on peut stocker sur des supports informatiques, bandes et disques magnétiques ou disques optiques. A partir de ces valeurs binaires et par un processus inverse, l'ordinateur peut reformer l'image mosaïque de départ sur un périphérique informatique, écran ou imprimante, ou la transmettre vers un autre ordinateur par différents moyens, depuis le réseau câblé local jusqu'à la liaison hertzienne.

La préhistoire : du tube cathodique à la télévision

Précédant l'invention de la télévision, l'oscillographe de Karl Ferdinand Braun en 1897, ou tube de Braun, est le premier tube à bombardement d'électrons qui permet d'illuminer la surface fluorescente d'un écran. Si la télévision est considérée comme une œuvre collective, allant du Pantélégraphe de Giovanni Caselli en 1860 au disque à balayage de Paul Nipkow en 1884, les premiers essais d'image électronique sont réalisés par Vladimir Kosma Zworykin. Cet Américain d'origine russe est l'inventeur en 1923 de l'iconoscope, ancêtre des actuelles caméras vidéo, et en 1929 du cinéscope, tube cathodique de réception et précurseur des postes de télévision : le faisceau d'électrons balaye la surface de l'écran, ligne par ligne, reformant l'image initiale obtenue par la caméra selon un procédé inverse. A partir de 1933, l'invention de Zworykin est mise à profit pour des émissions expérimentales réalisées à New York par la RCA et la NBC. Dès 1936, le Japonais Kenjiro Takayanagi qui travaille depuis plusieurs années dans ce domaine met au point un système de télévision à 441 lignes entièrement électronique. Dans le domaine militaire, le tube cathodique est développé pour les radars pendant les années 1930-1940 et à la même époque apparaissent les premiers calculateurs automatiques, ou ordinateurs.

Les débuts : l'ordinateur analogique de John Whitney

La genèse de l'image numérique apparaît presque simultanément dans le cadre de plusieurs domaines : militaire, industriel, mais aussi artistique. John Whitney Senior, artiste américain né en 1917, est généralement considéré "le pionnier absolu en matière de graphisme par ordinateur" selon William Moritz ². Dès les années 40, Whitney et son frère James commencent des travaux sur la fabrication automatique d'images en construisant des systèmes graphiques à base de pendules avec lesquels ils réalisent la série de *Film Exercices* (1943-1944). Au début des années

60, ils adaptent un appareil de visée pour radar de tir (le M7) ayant servi pendant la Deuxième Guerre Mondiale. Avec cet ordinateur primitif analogique qui permet de contrôler le mouvement, John Whitney va transformer des calculs en équivalents graphiques. Sa première œuvre réalisée par ce moyen, *Catalog*, est enregistrée sur pellicule et date de 1961. On y découvre notamment le premier essai de "slit-scan", un procédé de visualisation automatique que Douglas Trumbull (alors assistant de Whitney) utilisera quelques années plus tard pour les effets spéciaux de la séquence d'hallucination dans le film *2001, L'Odyssée de l'Espace* (Stanley Kubrick, 1968). En avance d'au moins un quart de siècle sur son époque, John Whitney Sr n'est pas complètement isolé dans son travail de pionnier. Pendant une période qui s'étale des années 1950 aux années 1970, d'autres artistes et ingénieurs se font remarquer comme Ben Laposky, Lillian Schwartz, Kenneth Knowlton, Herbert Franke, Ed Emshwiller, Peter Foldes, Charles Csuri ou John Stehura. Considéré comme le premier film entièrement sur ordinateur, *Simulation of a Two-Gyro, Gravity-Gradient Attitude Control System* est un travail expérimental réalisé à partir d'un IBM 7094 en 1963 par Edward Zajac des Bell Labs. Quant à John Whitney Sr, il devient à partir de 1966 le premier des "artistes résidents" chez IBM. Il y poursuit son travail de langage visuel en utilisant des ordinateurs modernes et réalise des films tels que *Permutations* (1967), *Hommage to Rameau* (1967), *Osaka 1-2-3* (1970), ou *Arabesques* (1975) avec son assistant Larry Cuba, devenu à son tour réalisateur dans ce domaine. Travaillant désormais chez lui, Whitney Sr continue encore en 1993 à réaliser des compositions d'images et de musique sur son propre ordinateur. Ses œuvres les plus récentes sont *Spirals* (1987) et *Moon Drums* (1991).

La maîtrise de l'écran graphique : les projets Whirlwind et Sketchpad

L'idée d'associer un tube cathodique à un ordinateur remonte aux années 1950-51 avec le Whirlwind, un dispositif mis au point au Massachusetts Institute of Technology (MIT). Le traitement en temps réel de données provient d'une station radar et permet l'affichage graphique sur écran d'une trajectoire de fusée ou d'un avion. Un ensemble plus complet de surveillance aérienne à base d'ordinateurs Whirlwind baptisé "Sage" (*Semi-automatic Ground Environment*) devient opérationnel aux Etats-Unis à partir de 1958.

De 1961 à 1963, Ivan Sutherland, alors jeune programmeur informatique et candidat au Doctorat d'Ingénieur au MIT, prépare sa thèse sur le Sketchpad : un programme de visualisation tournant sur ordinateur TX-2 destiné à manipuler et à modifier directement l'image sur l'écran à l'aide d'un crayon optique et de boutons presseurs. Les dessins exécutés sur ordinateur peuvent être stockés dans la mémoire de l'ordinateur sous forme de bases de données graphiques. De son côté General Motors travaille depuis 1959 sur un projet analogue intitulé DAC-I (*Design Augmented by Computers*), premier dispositif informatique interactif destiné à l'étude de prototypes automobiles qui offre la possibilité de modifier la taille et la forme des surfaces dessinées ou de faire pivoter les figures. En 1964, le DAC-I est présenté lors de la Joint Computer Conference, là même où un an auparavant Sutherland avait fait sa propre communication sur le Sketchpad. Avec le Sketchpad et le DAC-I, l'image numérique montre ainsi ses premières possibilités d'interactivité.

A cette époque, plusieurs secteurs de l'industrie, principalement l'aéronautique et l'automobile, vont commencer à développer des techniques de dessin et de conception assistés par ordinateur (DAO et CAO) pour répondre aux exigences de fabrication de certaines pièces de carrosseries par des machines outils à commande numérique. En France, à partir de 1958-60, des ingénieurs comme Paul

de Casteljau chez Citroën ou Pierre Bézier à la Régie Renault vont faire progressivement entrer la "CAO" dans les nouvelles mœurs de l'industrie automobile. Le premier prototype du système de CAO Unisurf, développé par Pierre Bézier pour l'usinage des carrosseries, entre en fonction en 1968 chez Renault. Bézier reste aussi célèbre dans l'histoire de l'infographie pour avoir donné son nom aux premiers algorithmes de lissage de courbes. Le couplage direct de la CAO avec une infrastructure de production (machine outil, automatisme, robot,...) conduit par la suite au principe de la CFAO (Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur) dont la mise en œuvre industrielle devient opérationnelle à partir des années 70. Les premiers systèmes clés en main développés par la société américaine Computervision commencent à être commercialisés, et le jeune marché de la CAO connaît un essor considérable à partir des années 80. Ordinateurs, terminaux graphiques et logiciels prennent place dans les bureaux d'études et les ateliers de fabrication en automobile, aéronautique, mécanique, électronique et génie civil. En France des sociétés comme Dassault Systèmes et Matra Datavision se spécialisent dans le développement de la CAO/CFAO avec leurs logiciels respectifs Catia et Euclid-IS.

Ainsi, au-delà de la fonction de représentation, l'image de CAO contient les informations de production d'un objet en devenir. Comme le dit Jean-Louis Weissberg ³ : "Face à un terminal de CAO, il devient évident que voir ce n'est pas enregistrer, c'est créer une image, la tester, appeler d'autres séries mémorisées dans l'ordinateur, actualiser des images d'une maquette virtuelle (...) Les images présentées sont des extractions toujours parcellaires d'un modèle numérique global, proprement invisible, car disponible sous tous les angles, tous les éclairages, toutes les coupes. Le jeu consiste à découper, à assembler et mettre en rapport des images actuelles affichées sur l'écran avec les images virtuelles mémorisées et compactées dans le modèle numérique".

Visuel interactif et simulation de vol

De leur côté les militaires s'intéressent de près aux possibilités de l'image numérique. Le principe d'un simulateur de vol est le suivant : assis dans un pseudo-cockpit, le pilote a face à lui un visuel de simulation. Ce dernier est constitué d'un ou plusieurs écrans vidéo où s'affichent des images de synthèse, modèle du paysage à survoler. Ces images sont stockées sous formes de bases de données dans la mémoire d'un puissant ordinateur. Comme s'il était dans un avion réel, des commandes de bord permettent au pilote d'agir sur les paramètres de vol tels que la vitesse, l'incidence, le roulis, etc. Recueillies par l'ordinateur, ces données, sensées modifier la position de l'appareil, servent à recalculer le nouveau champ de vision du pilote et à afficher en temps réel les nouvelles images correspondantes. Ainsi, réflexes et comportements des pilotes sont mis à l'épreuve autant de fois qu'il le faut dans les situations d'urgence et les manœuvres difficiles.

En 1958, la General Electric Company (GE) construit le premier simulateur de vol utilisant des images générées par ordinateur dans le cadre du programme JANIP (Joint Army Navy Instrumentation Programme). Dès 1962, la NASA passe un contrat avec GE qui lui fournit un premier simulateur destiné à l'entraînement des astronautes pour préparer leurs missions dans l'espace et sur la Lune. De 1966 à 1968, Peter Kamnitzer, chef du Urban Lab à l'Université de Californie à Los Angeles (UCLA), va employer ce simulateur pour recréer une ville imaginaire dans laquelle il peut marcher, prendre des ascenseurs en verre, conduire une voiture ou voler en hélicoptère. En 1968, le projet UCLA/NASA/GE fait l'objet d'un film documentaire, *Cityscape*, qui montre ainsi la première utilisation d'un simulateur

pour l'exploration virtuelle d'une maquette numérique de ville, ancêtre des *"walkthrough"* de la réalité virtuelle.

Le premier système de génération d'images par ordinateur débouchant sur un simulateur commercial est proposé par McDonnell Douglas entre 1971 et 1973. Connu sous le nom de Vital II, ce simulateur utilisait un visuel à affichage vectoriel : à l'intérieur du tube cathodique, le canon à électron exécute un tracé d'un point à autre à la surface de l'écran (comme on dessine avec un crayon), procédé différent de l'affichage à balayage de trame des tubes classiques employés en vidéo. Ayant reçu l'agrément de l'US Federal Aviation Administration (FAA) en 1972, Vital II est utilisé par la Pacific Southwest Airlines de San Diego en Californie pour l'entraînement de ses pilotes. Conçues pour visualiser uniquement des scènes nocturnes, celles-ci s'affichent sous forme de points lumineux sur un tube cathodique (CRT, pour Cathod Ray Tube) que le pilote peut observer à travers un dispositif optique qui collimate les images à l'infini. L'US Air Force Advanced Simulator for Pilot Training (ASPT) expérimente dès 1974 un simulateur multi-canaux à plusieurs écrans. Le cockpit est entouré par une mosaïque de douze facettes pentagonales jointives qui comportent sept tubes CRT de 91 cm de diamètre, chacun étant vu à travers un ensemble d'optiques collimatées. Connue sous le nom de Pancake Window, ce dispositif offre au pilote une vision de la scène sans discontinuité d'un écran à l'autre ; vision panoptique (ou en mode immersion) qui est celle du pilote lorsqu'il est réellement embarqué sur un avion. A partir de 1973, la société américaine Evans and Sutherland (E&S) fondée en 1968 par Dave Evans et Ivan Sutherland pour développer la technologie graphique par ordinateur, passe un accord avec le Britannique Rediffusion Simulation Limited (RSL) qui détient alors environ 50% du marché des simulateurs. E&S fournit le visuel Novoview destiné à équiper les cabines de simulations fabriquées par RSL. Un premier exemplaire est livré à la compagnie aérienne néerlandaise KLM. Ce marché naissant de l'image de synthèse temps réel propulse Evans & Sutherland comme l'une des entreprises pionnières dans ce domaine. Par la suite, des sociétés comme General Electric, Singer Link et CAE Electronics en Amérique du Nord, Hitachi au Japon, ou Thomson-CSF et Sogitec (filiale de Dassault Aviation) en France vont commercialiser à leur tour des simulateurs de vol civils et militaires basés sur les visuels infographiques. Le parc de ces simulateurs représente aujourd'hui environ de 600 à 700 unités. Jadis domaine réservé de l'air et de l'espace, les simulateurs gagnent peu à peu l'apprentissage et l'entraînement pour d'autres appareils : chars, bateaux, véhicules terrestres civils. Plus récemment les techniques de simulation ont évolués pour devenir des systèmes où les facultés sensorielles l'homme sont impliqués directement par des stimuli générés au plus près de son corps; on parle alors de réalité virtuelle.

Réalité virtuelle et simulateurs personnels

La réalité virtuelle est un ensemble de techniques informatiques qui permettent à l'homme de communiquer intimement et de façon interactive avec des univers iconiques récréés sur ordinateur. Des interfaces homme-machine telles que le gant numérique ou le casque de visualisation munis de capteurs donnent le sentiment au sujet humain d'être immergé à l'intérieur même de ces mondes artificiels (ou virtuels). En outre, le sujet peut interagir directement en se "déplaçant" lui-même à l'intérieur de ces espaces virtuels ou bien en déplaçant ou en modifiant les éléments qui les composent. Ils permettent de faire vivre au sujet une situation sur laquelle il a un pouvoir d'action, sans que cependant cette situation soit réelle, d'où l'appellation "réalité virtuelle". Enfin, plusieurs interlocuteurs distants peuvent être provisoirement réunis dans ces environnements et établir une communication

télevirtuelle. Nés de la recherche informatique, militaire et spatiale, des simulateurs personnels commerciaux font aujourd'hui l'objet de multiples développements pour des applications en design, architecture, chimie, médecine, robotique, physique, économie, éducation, loisirs, aide aux handicapés et bien d'autres encore. Modifiant fondamentalement la relation de l'homme avec l'image à travers des fonctions comme l'immersion, l'interactivité ou la télévirtualité, la réalité virtuelle ouvre de nouvelles perspectives expérimentales dans la relation au savoir : simulation, formation, réunion de partenaires distants à des fins heuristiques, cognitives ou ludiques.

Deux catégories d'images numériques

Parallèlement à ces développements au cours des trente dernières années, d'autres bouleversements technologiques vont avoir une influence sur les moyens d'acquisition et de manipulation des connaissances dans le domaine scientifique. La conquête spatiale connaît des succès avec le lancement de satellites d'observation de la Terre ou de sondes interplanétaires missionnées pour l'exploration du système solaire. De nouveaux appareillages d'observation du ciel, du corps et de la matière font leur entrée dans les hôpitaux, universités et grands centres de recherche : supertélescope et radiotélescope, microscope électronique, microscope à effet tunnel, microscope confocal, radar, sonar, scanner X, scanner par résonance magnétique (IRM), gamma caméra, détecteur de particules dans les accélérateurs (*voir le prix Nobel de Physique attribué à Georges Charpak en 1992*), etc. Ces innovations donnent naissance à des familles entières d'imageries pour lesquelles l'ordinateur est un auxiliaire indispensable, pour leur acquisition, mais aussi pour leur traitement.

Ainsi vont se différencier deux types d'images numériques : les images naturelles, retraitées ou non, et les images de synthèse. Les premières - comme avec la photographie - sont obtenues à partir d'un objet réel d'observation, tandis que les secondes - comme avec le dessin - sont de pures créations de l'homme.

Acquisition des images naturelles

Les images "naturelles" (objets, personnes, paysages, photographies, dessins, documents écrits, vues aériennes, astronomiques ou microscopiques, images vidéo...), sont obtenues par des périphériques d'entrée à base de capteurs de lumière, numérisées et stockées par l'ordinateur. Pour les scènes réelles, on utilise des caméras à numériser, elles-mêmes constituées soit de tubes vidéo, soit de composants à transfert de charge appelés couramment capteurs à CCD (*pour charge coupled devices*), cellules photosensibles qui convertissent la lumière en un signal électrique. La sensibilité de ces capteurs peut être réglée soit sur la lumière visible, soit sur d'autres fréquences non visibles du spectre électromagnétique : rayonnement infrarouge, ondes radios, rayons X, rayons gamma, etc. Dans d'autres cas, par exemple en imagerie médicale, on fait appel à des capteurs spécifiques tels que sondes ou antennes, notamment pour les scanners à rayons X, l'IRM ou l'échographie. Pour les documents sur papier ou supports photographiques (textes, dessins, tableaux, photos, films,...), la numérisation peut s'effectuer via des scanners à plat. Equipés d'une barrette mobile de cellules CCD, le scanner analyse le document par un balayage ligne par ligne. Des capteurs (caméras, scanners ou radars) sont également exploités sur les satellites de télédétection comme Spot, Météostat ou ERS et sondes interplanétaires comme Voyager, Viking ou Magellan pour envoyer des images de leurs missions vers la Terre. Enfin, les images vidéo, quelques soient leurs sources (caméra, bande magnétique, vidéodisque ou tuner

de réception hertzien) sont directement numérisées via un encodeur qui convertit le signal vidéo analogique en un signal numérique.

Traitements d'image

Les images, une fois numérisées, peuvent être si nécessaire analysées, retraitées, retouchées : on modifie leur forme et les couleurs de départ, on réduit, on agrandit, on change le contraste, on supprime, on rajoute ou on duplique des éléments, c'est le traitement d'image. Ces traitements particuliers vont permettre d'assurer une bonne interprétation des documents d'origine, ce qui dépend des objectifs recherchés dans les différents domaines d'application : météorologie, cartographie, agronomie, écologie, géologie, aménagement du territoire (interprétation des images de télédétection), biologie, minéralogie (imagerie microscopique), médecine (imageries médicales), contrôle de fabrication, surveillance, défense, robotique industrielle (vision artificielle, reconnaissance des formes), création graphique en tous genres, etc.

En modifiant les valeurs initiales de certains pixels par le biais de fonctions informatiques programmées, ou algorithmes, on est amené ainsi à créer une nouvelle image. On peut par exemple augmenter la lisibilité des images en faisant faire ressortir certaines caractéristiques visuelles.

On utilise généralement des fonctions de filtrage, d'amélioration du contraste, de seuillage, de détection de contour, ou encore de désignation de niveaux de gris ou de fausses couleurs. Le filtrage permet le "nettoyage" de l'image, c'est à dire d'éliminer le "bruit de fond" ou parasites qui viennent perturber l'acquisition ou la transmission. L'accentuation de contraste consiste à améliorer la visualisation en éclaircissant les zones claires et en fonçant les zones sombres. Les méthodes de visualisation en traitement d'images servent à mettre en évidence aussi bien des données qualitatives que quantitatives. On peut isoler certaines plages homogènes de l'image à l'aide d'un surlignage graphique ou contour, ou bien en attribuant arbitrairement des fausses couleurs (ou des niveaux de gris pour les images en noir et blanc) à ces zones. Dans le domaine médical cela permet de distinguer les tissus de différentes natures (os, muscles, vaisseaux, lésions, tumeurs, etc). Dans l'analyse d'imagerie aérienne, un agronome (ou un urbaniste) peut différencier les zones afin de connaître le plan d'occupation des sols d'un territoire (bois, champs cultivés, zones urbanisées, etc.). Dans le cas de la vision artificielle, un robot équipé d'une caméra peut reconnaître la forme d'une pièce détachée (contrôle industriel) ou celle d'un char (militaire).

Le seuillage permet de caractériser des zones correspondant à des variations d'intensité d'un paramètre donné (lumière, température, pression, humidité, densité de végétation) en choisissant des valeurs seuils comme frontières de partage entre ces zones. On utilise pour cela des dégradés de fausses couleurs séparés par des isolignes et correspondant à des fourchettes de valeurs sur l'échelle des unités du paramètre étudié. Par exemple de 0 à 10 : blanc, de 10 à 20 : rose, de 20 à 30 : rouge, etc.

On peut également rajouter sur l'image initiale des informations (textes ou graphiques) en provenance d'autres sources ou d'autres imageries comme dans les systèmes d'information géographique (SIG). Dans les métiers de la création graphique et audiovisuelle, l'usage désormais courant de la palette graphique autorise toutes sortes de retouches, de mélanges et de trucages sur des photos et documents originaux. La colorisation des films noir et blanc ou la restauration des films anciens font également appel à des techniques infographiques de ce type.

La photogrammétrie est un traitement particulier qui permet d'analyser les couples de photos (ou d'images satellites) d'une même zone, vue sous deux perspectives

différentes. On parvient à mesurer le relief d'un territoire avec une précision qui dépend de l'altitude de prise de vue. La photogrammétrie sert essentiellement à l'établissement de plans, de cartes, de bases de données topographiques indiquant l'altitude et de modèles numériques de terrain (MNT). Le MNT est une réplique tridimensionnelle d'un territoire donné pouvant être manipulée comme une maquette numérique. Cette méthode est également employée pour la détermination du relief sur des images microscopiques. Enfin il existe des fonctions de manipulation qui ne modifient pas l'image originale telles que les déplacements latéraux, d'agrandissement et de réduction (zoom).

Images de synthèse

A la différence des images naturelles numérisées, les images artificielles, ou images de synthèses, sont créées directement par l'homme sur ordinateur. On utilise alors des interfaces homme-machine d'entrée : clavier, souris, tablette à numériser, boîte à boutons, boule de contrôle, gant de données, capteur de position, laser de saisie tridimensionnelle, etc. Des logiciels graphiques sont dédiés à chaque type d'application : CAO, design industriel, animation, réalité virtuelle, etc. La manière la plus élémentaire est de reproduire les gestes du dessin avec la souris de la même façon que le ferait un peintre avec un crayon ou un pinceau. Les images ainsi formées s'affichent instantanément sur l'écran. Un menu réunissant des outils graphique permet de changer l'épaisseur du trait, la couleur de remplissage, d'effacer, etc. C'est la méthode de la palette graphique, popularisée depuis une décennie avec la diffusion massive de micro-ordinateurs. Dans les métiers du graphique, du design et la publicité, on utilise la palette graphique, comme un véritable substitut de la gouache et de l'aérographe pour la création de visuels promotionnels ou de packagings.

Mais, à l'aide d'un clavier, d'une tablette à numériser ou d'une autre interface de saisie, on peut également rentrer dans la machine les données géométriques et graphiques (formes, couleurs, textures et effets de lumières) qui correspondent à un dessin ou à un projet. C'est le principe adopté pour les logiciels de CAO dans les années 1960 à 1980, puis par la suite pour les outils infographiques de design industriel, d'animation et de réalité virtuelle.

Vers la troisième dimension

Si le dessin traditionnel nous a appris à représenter la profondeur de l'espace et des objets grâce aux lois de la perspective, notre feuille de papier ne possède en réalité aucune information réelle sur le relief ainsi représenté. Le peintre hollandais Escher et quelques autres artistes du trompe-l'œil ont montré qu'on pouvait, par un simple artifice pictural, abuser volontairement notre perception de l'espace en simulant des perspectives impossibles, tel un escalier qui descend perpétuellement. Chaque point de notre dessin ne peut en réalité être décrit que par un couple de coordonnées cartésiennes à deux dimensions, abscisses et ordonnées. C'est le concept de 2D, pour deux dimensions, très utilisé depuis les débuts de la CAO pour l'étude des courbes et des surfaces droites. Mais, avec l'infographie, il est possible de caractériser chaque point de l'image par trois données cartésiennes au lieu de deux, en rajoutant une valeur de profondeur. C'est la naissance de la 3D, pour trois dimensions. Le dessin est alors un volume caractérisé par des vecteurs qui relient des sommets entre eux. L'ingénieur ou le graphiste peut concevoir une maquette virtuelle d'un objet à trois dimensions située elle-même à l'intérieur d'un espace numérique virtuel. Les premières images de synthèse 3D réalisées en CAO ressemblent à des assemblages de fils rigides, mode de représentation désignée encore par l'expression "fil de fer". A l'aide d'une boîte à boutons, d'une souris,

d'une boule de contrôle (*trackball* et *spaceball*) ou d'un gant de données (ou gant numérique), on peut interagir directement avec ces objets virtuels, l'ordinateur recalculant et affichant sur l'écran toute nouvelle modification géométrique : addition ou suppression d'un élément, déplacements et rotations de l'objet dans les trois coordonnées de l'espace, grossissements et réductions, etc

En quelques années, la puissance de calcul des ordinateurs aidant, les logiciels 3D se sont enrichis d'un grand nombre de fonctions destinées notamment à donner un réalisme accru aux maquettes numériques : élimination de parties cachées, possibilité d'explorer les structures sous plusieurs perspectives, de réaliser des coupes intérieures, création de sources lumineuses, d'ombres portées, de textures, de réflexions et de transparence.

L'origine de ces apports réalistes en revient souvent au développement de l'imagerie 3D pour la simulation de vol ; les pilotes à l'entraînement dans les pseudo-cockpits ayant besoin d'images de plus en plus pertinentes sur le plan visuel, avec force détails, végétations, constructions, hydrographie, et toutes les nuances de textures que cela suppose. D'autres innovations infographiques viendront de la recherche privée telle celle de Benoît Mandelbrot en 1975. Travaillant chez IBM aux Etats-Unis, il met au point une méthode mathématique, dite des objets "fractals", qui permet notamment de créer des formes abstraites baptisés "ensembles", mais aussi de simuler avec réalisme des formes naturelles complexes telles que le feuillage des arbres, les nuages dans le ciel ou le relief d'une montagne. Si les ensembles fractals ont fait l'objet d'études et de recherche par la communauté des mathématiciens, ils ont aussi été un motif de création pour certains artistes et de réflexion épistémologique pour quelques philosophes. Ainsi Philippe Quéau s'emploie à décrire les objets fractals comme : " entités mathématiques abstraites, certes susceptibles de représentations visuelles variées, mais en aucun cas assimilables à des "objets" classiques repérables dans l'univers euclidien. (...) L'espace des objets laisse la place à un espace-image, se prenant lui-même pour objet de représentation" 4.

La révolution industrielle de l'image numérique

Depuis les années 80 l'infographie se "démocratise" en s'étendant à de multiples secteurs de l'activité économique et culturelle. Le prix des ordinateurs baisse en même temps que leur encombrement diminue, et qu'inversement leurs performances graphiques augmentent. La taille de la mémoire vive s'accroît considérablement, autorisant un traitement de plus en plus rapide des données, tout comme celle des mémoires de stockage, permettant l'enregistrement de tailles de fichiers de plus en plus importantes, donc d'images de plus en plus riches et plus complexes. La qualité des périphériques d'entrée - scanners, caméras, tablettes à numériser, boules, souris - et des périphériques de sortie - imprimantes, moniteurs - s'améliore aussi : avec notamment l'apparition de la couleur et de la haute définition graphique (augmentation du nombre de points par image). Des logiciels dédiés au traitement et à la synthèse des images sont d'abord conçus par les ingénieurs et les chercheurs pour leurs propres travaux dans les bureaux d'étude et les laboratoires de recherche ; puis un peu plus tard des progiciels sont développés par des sociétés privées qui vont les destiner aux marchés professionnels de différents secteurs : industrie mécanique, architecture, chimie et biochimie, astronomie, médecine, textile et habillement, création graphique, animation audiovisuelle, design, etc. Ces logiciels se perfectionnent. Tout d'abord les procédures d'emploi sont simplifiées par une amélioration des interfaces de travail : apparition de la souris, d'icônes, de menus et de fenêtres. Cette nouvelle

ergonomie rend ces outils plus accessibles aux non spécialistes de l'informatique, lesquels peuvent se consacrer pleinement à leur tâche dans leurs domaines professionnels respectifs (architecture, design, audiovisuel, etc.). De plus, les développeurs enrichissent leurs progiciels de nouveaux modules et fonctions : placages de textures, rendu photoréaliste, raffinements des éclairages, réflexion de la lumière, effets atmosphériques, animation dynamique des personnages, etc. Les algorithmes de réalisme servent aussi bien dans le secteur audiovisuel que pour des applications de design et de communication dans le domaine industriel ; par exemple pour présenter un futur projet ou prototype automobile. Autre technique, le dessin animé assisté par ordinateur (DAAO) est une sorte de palette graphique qui permet de créer des dessins en 2D et de faire le gouachage directement sur écran. En outre, à partir de dessins clés proposés par l'animateur, l'ordinateur assure le calcul et l'affichage de toutes les images intermédiaires pour réaliser les séquences d'animation.

Nouvelles pratiques et nouveaux métiers

Aujourd'hui architectes et urbanistes conçoivent leurs projets directement en volume et peuvent les modifier à volonté, faire des coupes, choisir plusieurs points de vue de représentation, etc. Une nouvelle cartographie tridimensionnelle est obtenue par traitement de photos aériennes ou d'images en provenance de satellites de télédétection pour simuler des vues réalistes en perspective de villes et de territoires géographiques. Cette même technique de reconstruction 3D sert à représenter les paysages inconnus de la surface des planètes visitées par les sondes spatiales, comme Mars ou Venus.

Dans de nombreux domaines scientifiques et industriels, on développe des outils infographiques : croissance végétale, physique des particules, astrophysique, dynamique des fluides, mathématiques, résistance des matériaux, etc. Bref à chaque fois que des conditions expérimentales sont trop coûteuses, ou bien impossibles à mettre en œuvre à l'échelle humaine ; soit encore que les modèles numériques proposés sont plus riches d'enseignement que l'observation réelle du phénomène. En chimie et biochimie, l'infographie moléculaire permet de construire et manipuler en temps réel des modèles de molécules ; puis de simuler leurs réactions pour la mise au point de nouveaux médicaments ou de substances à haute valeur ajoutée.

Dans le domaine médical, depuis les travaux de Gabor Hermann de l'Université de Philadelphie en 1981-1982, on sait faire des reconstructions en 3D du corps humain à partir de coupes scanner. Au concept de pixel, plus petit élément de surface d'image numérique à deux dimensions, s'est substitué celui de voxel, plus petit élément de volume. Cette imagerie en 3D constitue un nouvel outil pour les médecins et les chirurgiens. En visualisant en volume des organes ou des parties du corps sur un moniteur vidéo, ils peuvent localiser des lésions ou des tumeurs, pratiquer des coupes dans tous les sens, sorte de dissection simulée sur écran et décider d'un acte opératoire ou d'une thérapie appropriée sans risques inutiles pour le patient. Dans les industries du textile et de l'habillement, l'infographie sert à créer des échantillons de tissus ou de nouveaux modèles de vêtements.

Tous ces développements marquent une mutation décisive du rôle de l'image, dont la mise en forme numérique est l'un des facteurs décisifs. Plusieurs auteurs ont soulevé ces dernières années ce qui caractérise cette mutation. Pour Philippe Quéau ⁵ : "A l'ère classique de la représentation succède désormais l'ère de la simulation. A une conception "pure" de l'espace succède une conception purement "intermédiaire". (...) L'espace n'est plus un lieu de représentation, mais une des

conditions de la simulation. La simulation décrit le monde et ses représentations dans une langue souple et mobile toujours à la recherche d'elle-même".

Pour Edmond Couchot ⁶: "La simulation numérique utilise, certes, du langage, (...) un langage déjà formalisé et filtré par la logique du calcul. (...) L'amplitude du champ des possibles offert par un modèle de simulation dépend des limites du modèle lui-même (...) Un modèle de croissance de cerisier ne donnera jamais à voir un palmier, mais la croissance du cerisier pourra, à l'intérieur de certaines limites, se présenter sous d'innombrables variations, plus ou moins probables (...) Une expérience numérique peut se répéter indéfiniment et le nombre de répétitions est limité seulement par le temps que l'interprète humain veut ou peut lui accorder. Le monde virtuel de la simulation se tient hors du temps et hors de l'espace "réel", il est uchronique et utopique (...) Dans le temps uchronique de la simulation, l'évènement n'a plus cours, l'éventuel s'y substitue. (...) Le virtuel ne produit plus des évènements, mais des éventualités. Le temps ne s'y déroule plus d'une manière linéaire et irréversible, il se ramifie en une arborescence de possibles toujours réitérables et jamais actualisables dans leur totalité. (...) L'itérabilité infinie des processus apporte une totale impunité à celui qui en fait l'expérience. Un pilote d'avion (*dans un simulateur - NDLA*) s'écrase vingt fois au sol de vingt manières différentes, ressent vingt fois les émotions de la chute et en ressort vingt fois indemne".

De la représentation à la simulation

Mais l'audiovisuel reste l'un des secteurs les plus populaires de l'infographie. Le cinéma en premier lieu avec les effets spéciaux. En 1981 Walt Disney fait appel à des images créées sur ordinateur pour le film *Tron* (Steven Lisberger, 1982). Ces images, réalisées par la société MAGI couvrent un tiers de la durée totale du film et ont nécessité le recours à un Cray X-MP, fleuron des supercalculateurs de l'époque. Depuis, de nombreux cinéastes ont utilisé des effets spéciaux numériques avec des films comme *Star Trek II, la colère de Khan* (Nicholas Meyer, 1982), *2010* (Peter Hyams, 1984), *L'Unique* (Jérôme Diamant Berger, 1986), *Willow* (Ron Howard, 1988), *Abyss* (James Cameron, 1989), *Les Mille et Une Nuits* (Philippe de Broca, 1990), *Terminator 2, le Jugement Dernier* (James Cameron, 1991), ou *Jurassic Park* (Steven Spielberg, 1993). Au milieu des années 1980, la télévision s'empare à son tour de l'image numérique pour ses génériques et habillages de programmes, ainsi que le milieu de l'entreprise pour des films publicitaires et institutionnels ou pour la création de logos.

Avec l'animation par ordinateur, la décennie 1980 voit aussi de nouveaux talents s'exprimer dans un mode de création jusque là totalement inédit : Robert Abel, Rebecca Allen, James Blinn, Michel Bret, Tom Brigham, Jean-François Colonna, Charles Csuri, Matt Elson, Michaël Girard, Ned Green, Yoichiro Kawaguchi, William Latham, John Lasseter, Alan Norton, Sabine Porada, Karl Sims ou Daniel et Nadia Thalmann. La plupart de ces artistes ont développé par eux-mêmes les outils logiciels qui leur ont permis de fabriquer leurs images.

Un prolongement dans l'histoire de l'image construite

L'image numérique, appelée aussi image calculée, semble s'inscrire comme un prolongement dans une histoire de l'image construite et des courants esthétiques qui l'ont accompagnée, notamment à travers l'histoire des arts plastiques. L'image optique dévoile son parcours : représentation mythique qui nous vient du fond des âges puis qui s'est structurée tour à tour par les lois de la perspective, l'apparition de la photographie et du cinéma, son traitement électronique et la possibilité de la

transmettre à distance avec la vidéo et la diffusion hertzienne. L'informatique a fait franchir à l'image le saut de l'analogique (optique) au numérique. Pour Edmond Couchot ⁷, "il semble que la Représentation soit en passe de perdre son hégémonie séculaire", et s'interroge : " à quelle nouvelle vision du monde l'ordre numérique est-il en train de donner naissance ? ". En cette fin du XXème siècle, le système figuratif doit se familiariser à côtoyer un autre système, celui-là fondé sur la simulation et dont nous ne faisons que découvrir les premières lois et les premières incidences.

L'image numérique et ses techniques ont ouvert de nouvelles voies d'exploration du monde et d'appréhension des savoirs. Ces savoirs sont fatalement modifiés, revus ou enrichis par toutes ces techniques. D'autres savoirs sont nés de l'existence même de ces techniques, et par conséquent conceptualisés en fonction de leur usage. La transmission du savoir dans un domaine donné doit par conséquent tenir compte de ces facteurs d'acquisition. Par ailleurs ces outils apparaissent aussi comme un nouveau champ de savoir en soi, qui doit ou devra être transmis en tant que connaissance scientifique à part entière.

Jean SEGURA

NOTES

- (1) J. Mourier , ancien PDG de la firme française Benson, fabricant des tables à tracer les plans
- (2) W. Moritz (historien du Californian Institute of the Arts). *Technologies et Imaginaires. Art Cinéma. Art Vidéo. Art Ordinateur. Dis Voir.* Paris, 1990, p 154.
- (3) J.L. Weissberg : *De l'image au regard.* Actes du colloque 19-20 mai 1988 "Vers une culture de l'interactivité". Cité des Sciences, Paris La Villette. Coordination Claude Faure & Antonia Bacchetti. 1989. p 58 et p 59.
- (4) Ph. Quéau : *Altercation.* Ibid, p 67
- (5). Ph. Quéau. Ibid, p 68 et p 72
- (6) E. Couchot : *Vices et vertus du virtuel.* Ibid, p 100, 101 et 102
- (7) E. Couchot : *Images. De l'optique au numérique.* Hermès. Paris. 1988, p 17.

Informations sur l'auteur : Jean SEGURA, Docteur 3e cycle en Chimie de la Pollution. Maîtrise d'Information et Communication Scientifique et Technique (ICST - mémoire sur "L'image numérique", Université Paris 7, 1986). Auteur et journaliste scientifique depuis 1985. Membre de l'Association des Journalistes Scientifiques de la Presse d'Information (AJSPI). 400 références publiées. Spécialiste de l'imagerie scientifique, de l'image numérique et de la réalité virtuelle. Livre : *Du Scanner aux images numériques.* Agfa Gevaert/Nathan, Paris, 1989, 111 p.

Référence en ligne <http://cths.fr/ed/edition.php?id=393>